



Document No. 0212-521

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of : Customer Number: 20277
Toshiaki OKUNO : Confirmation Number: 3523
Serial No.: 10/647,341 : Group Art Unit: 2874
Filed: August 26, 2003 : Examiner: not yet assigned
For: OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM

**CLAIM OF PRIORITY AND
TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT**

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

In accordance with the provisions of 35 U.S.C. 119, Applicant(s) hereby claims(s) the priority of:

Japanese Patent Application No. 2002-251632, Filed August 29, 2002
Japanese Patent Application No. 2003-158192, Filed June 3, 2003

cited in the Declaration of the present application. Certified copy(ies) is(are) submitted herewith.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY

Arthur J. Steiner
Registration No. 26,106

600 13th Street, N.W.
Washington, DC 20005-3096
(202) 756-8000 AJS:jgh
Facsimile: (202) 756-8087
Date: January 14, 2004

10/647,341
McDermott, W. J. & Emery
Filed 8/26/2003
50212-SA1

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 6 月 3 日
Date of Application:

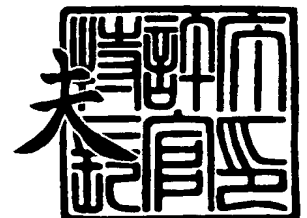
出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 1 5 8 1 9 2
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 1 5 8 1 9 2]

出 願 人 住 友 電 気 工 業 株 式 会 社
Applicant(s):

2 0 0 3 年 9 月 1 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特 2 0 0 3 - 3 0 7 1 1 5 1

【書類名】 特許願

【整理番号】 103Y0325

【提出日】 平成15年 6月 3日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H04J 14/00

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会
社横浜製作所内

【氏名】 奥野 俊明

【特許出願人】

【識別番号】 000002130

【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100088155

【弁理士】

【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

【識別番号】 100089978

【弁理士】

【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

【識別番号】 100092657

【弁理士】

【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】

【識別番号】 100110582

【弁理士】

【氏名又は名称】 柴田 昌聰

【先の出願に基づく優先権主張】**【出願番号】** 特願2002-251632**【出願日】** 平成14年 8月29日**【手数料の表示】****【予納台帳番号】** 014708**【納付金額】** 21,000円**【提出物件の目録】****【物件名】** 明細書 1**【物件名】** 図面 1**【物件名】** 要約書 1**【包括委任状番号】** 0106993**【プルーフの要否】** 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光伝送システム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 直接変調光源を含み、信号波長帯域内に含まれる複数信号チャネルの信号光を出力する光送信器と、

前記信号光を受信する光受信器と、

前記複数信号チャネルが多重化された信号光が伝搬する伝送媒体であって、前記光送信器と前記光受信器との間に設けられた光ファイバ伝送路と、

前記光送信器の信号送信端と前記光ファイバ伝送路の信号入射端との間、前記光ファイバ伝送路上、及び、前記光ファイバ伝送路の信号出射端と前記光受信器の信号受信端との間のいずれかの光路上に設けられ、前記信号光に含まれる複数信号チャネルのうち、前記光ファイバ伝送路の零分散波長を含む第 1 波長域以外の第 2 波長域の信号チャネル群の波長分散を分散補償する分散補償器とを備え、

前記光ファイバ伝送路及び前記分散補償器におけるトータル波長分散が最大となる前記第 2 波長域内の特定波長において、ビットレートを B (Gb/s) とするとき、該特定波長における波長分散値は 0 (ps/nm) より大きく $7500/B^2$ (ps/nm) 以下であり、

当該システム全体から見て、前記第 2 波長域内の各信号チャネルにおける損失は、前記第 1 波長域内の信号チャネルにおける損失のうち最大損失より小さい光伝送システム。

【請求項 2】 直接変調光源を含み、信号波長帯域内に含まれる複数信号チャネルの信号光を出力する光送信器と、

前記信号光を受信する光受信器と、

前記複数信号チャネルが多重化された信号光が伝搬する伝送媒体であって、前記光送信器と前記光受信器との間に設けられた光ファイバ伝送路と、

前記光送信器の信号送信端と前記光ファイバ伝送路の信号入射端との間、前記光ファイバ伝送路上、及び、前記光ファイバ伝送路の信号出射端と前記光受信器の信号受信端との間のいずれかの光路上に設けられ、前記信号光に含まれる複数信号チャネルのうち、前記光ファイバ伝送路の零分散波長を含む第 1 波長域以外

の第2波長域の信号チャネル群の波長分散を分散補償する分散補償器とを備え、

前記光ファイバ伝送路及び前記分散補償器におけるトータル波長分散が最大となる前記第2波長域内の特定波長において、ビットレートを B (Gb/s) とするとき、該特定波長における波長分散値は 0 (ps/nm) より大きく $7500/B^2$ (ps/nm) 以下であり、

前記第2波長域内の各信号チャネルに対する前記光受信器の受信パワーのうち最小受信パワーは、前記第1波長域内の信号チャネルの前記光ファイバ伝送路における光パワーのうち最小光パワーより大きい光伝送システム。

【請求項3】 前記光ファイバ伝送路及び前記分散補償器におけるトータル波長分散は、前記第2波長域内の全信号チャネルにおいて、 0 より大きく $7500/B^2$ (ps/nm) 以下であることを特徴とする請求項1又は2記載の光伝送システム。

【請求項4】 前記第2波長域内に含まれる信号チャネルのうち少なくとも一信号チャネルのビットレートは、前記第1波長域内の全信号チャネルのいずれのビットレートよりも高いことを特徴とする請求項1～3のいずれか一項記載の光伝送システム。

【請求項5】 前記分散補償器は、分散補償光ファイバを含むことを特徴とする請求項1又は2記載の光伝送システム。

【請求項6】 前記光ファイバ伝送路は、波長 $1.3\mu\text{m}$ 近傍に存在する零分散波長を有するシングルモード光ファイバを含むことを特徴とする請求項1又は2記載の光伝送システム。

【請求項7】 前記光ファイバ伝送路は、波長 $1.38\mu\text{m}$ において、波長 $1.31\mu\text{m}$ における伝送損失より小さい伝送損失を有することを特徴とする請求項1又は2記載の光伝送システム。

【請求項8】 前記光ファイバ伝送路は、 $1.35\mu\text{m}\sim 1.5\mu\text{m}$ の波長範囲内に零分散波長を有することを特徴とする請求項1又は2記載の光伝送システム。

【請求項9】 前記信号光をラマン増幅するためのラマン増幅用励起光を、前記光ファイバ伝送路に供給する励起光供給手段をさらに備えたことを特徴とす

る請求項 1 又は 2 記載の光伝送システム。

【請求項 10】 前記励起光供給手段は、 $1.2\mu\text{m}\sim 1.3\mu\text{m}$ の波長範囲内の複数励起チャネルが多重化されたラマン増幅用励起光を、前記光ファイバ伝送路に供給することを特徴とする請求項 9 記載の光伝送システム。

【請求項 11】 前記信号光をラマン増幅するためのラマン増幅用励起光を、前記分散補償光ファイバに供給する励起光供給手段をさらに備えたことを特徴とする請求項 5 記載の光伝送システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、信号波長帯域内に含まれる複数信号チャネルが多重化された信号光（多重化信号光）を光ファイバ伝送路を介して伝送する光伝送システムに関するものである。

【0002】

【従来の技術】

波長分割多重（WDM: Wavelength Division Multiplexing）光伝送システムは、複数信号チャネルを含む多重化信号光を光ファイバ伝送路を介して伝送する光システムであり、大容量情報の高速送受信を可能にする。また、光伝送システムは、信号光伝搬経路全体の累積波長分散の絶対値を小さくすることで、信号光の波形劣化を抑制することができる。これにより、ビットレートを高くすることができ、更なる大容量化が可能である。

【0003】

例えば、特開平 11-204866 号公報に開示された光伝送システムは、多重化信号光に含まれる複数信号チャネルを複数の帯域に分波して、帯域ごとに分散補償をするシステムであって、これにより、帯域毎に累積波長分散の絶対値の低減が図られている。

【0004】

文献 1「D. A. Atlas, "Chromatic dispersion limitations due to semiconductor laser chirping in conventional and dispersion-shifted single-mode

fiber systems”, Optics Letters, Vol.13, No.11, pp.1035-1037 (1988)」には、信号光源として直接変調半導体レーザ光源が適用されたシステムにおいて、累積波長分散と伝送特性との関係が示されている。この文献には、良好な信号光伝送品質を得るための分散耐力の値が記載されており、ビットレートが 2.5 Gb/s であるときには分散耐力が 1200 ps/nm であり、ビットレートが 10 Gb/s であるときには分散耐力が 80 ps/nm である旨が記載されている。

【0005】

文献2「M. Kakui, et al., "2.4Gbit/s repeaterless transmission over 30 km non-dispersion-shifted fibre using directly modulated DFB-LD and dispersion-compensating fibre”, Electronics Letters, Vol.31, No.1, pp.51-52 (1995)」に記載された光伝送システムは、信号光源として直接変調半導体レーザ光源が利用され、また、分散補償器として分散補償光ファイバが利用され、累積波長分散の絶対値を略零にすることが意図されている。

【0006】

文献3「M. Tanaka, et al., "Water-peak-suppressed non-zero dispersion shifted fiber for full spectrum coarse WDM transmission in metro networks”, OFC2002, WA2」に記載された光伝送システムは、波長 $1.38 \mu\text{m}$ 付近のOH基に金した損失ピークが低減された光ファイバが適用されたシステムである。この文献には、信号光源として直接変調半導体レーザ光源を利用した場合であって、ビットレートが 2.5 Gb/s であるときに、累積波長分散が 1000 ps/nm 程度で伝送ペナルティが 1 dB である旨が記載されている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

発明者は、従来の光伝送システムを検討した結果、以下のような課題を発見した。すなわち、信号光のチャネル間隔（信号波長間隔）が比較的広いCWDM（Coarse WDM）光伝送を行なう光伝送システム（例えば特開 2 0 0 0 - 1 5 6 7 0 2 号公報を参照）は、一般に、通信需要が比較的小さい経路に対して適用されるシステムであり、システムコスト低減が要求されることから、信号光源として利用される半導体レーザ光源が直接変調され、また、分散補償が行なわれない

のが一般的である。

【0008】

一方、一般に光ファイバ伝送路として利用される光ファイバは信号波長において正の波長分散を有することから、分散補償する場合には、信号波長において負の波長分散を有する分散補償光ファイバが該光ファイバ伝送路に挿入される。しかしながら、分散補償光ファイバに代表されるような分散補償器は、一般に、分散補償量の絶対値が大きいほど挿入損失が大きい傾向がある。そのため、必要以上に分散補償すると、システム全体の伝送損失が著しく増加してしまう。

【0009】

この発明は、上述のような課題を解決するためになされたものであり、信号波長帯域内の複数信号チャネルが多重化された信号光の高品質伝送を可能にし、特にCWDm光伝送に適した構造を備えた光伝送システムを提供することを目的としている。

【0010】

【課題を解決するための手段】

この発明に係る光伝送システムは、直接変調光源を含む光送信器と、光受信器と、これら光送信器と光受信器との間に配置された光ファイバ伝送路と、分散補償器を少なくとも備える。上記光送信器は、信号波長帯域内に含まれる複数信号チャネルの信号光を出力する。上記光受信器は、光送信器から出力された信号光を受信する。上記光ファイバ伝送路は、上記複数信号チャネルが多重化された信号光（多重化信号光）が伝搬する伝送媒体である。また、上記分散補償器は、光ファイバ伝送路の零分散波長を含む第1波長域以外の第2波長域の信号チャネル群を分散補償する。

【0011】

なお、このような光伝送システムでは、上記光送信器から出力される複数信号チャネルは、一旦合波器により多重化され、この多重化信号光が光ファイバ伝送路を介して伝送される。その後、多重化信号光に含まれる信号チャネルは分波器により分波され、これら各信号チャネルが光受信器によりそれぞれ受信される。したがって、上記分散補償器が光送信器の信号送信端と光ファイバの信号入射端

との間の光路上に配置された構成では、該分散補償器の前段には、上記複数信号チャンネルのうち第2波長域の信号チャンネル群を多重化する合波器が配置される。一方、上記分散補償器が光ファイバ伝送路上、及び、光ファイバ伝送路の信号出力端と光受信器の信号受信端との間にいずれかの光路上に配置された構成では、該分散補償器の前段には、上記複数信号チャンネルを第1波長域の信号チャンネル群と第2波長域の信号チャンネル群とに分波する分波器が配置される。

【0012】

特に、この発明に係る光伝送システムにおいて、光ファイバ伝送路及び分散補償器におけるトータル波長分散が最大となる第2波長域中の特定波長において、ビットレートを B (Gb/s) とするとき、該特定波長における波長分散値は 0 (ps/nm) より大きく $7500/B^2$ (ps/nm) 以下である。加えて、当該システム全体から見て、第2波長域内の各信号チャンネルの損失は、第1波長域内の信号チャンネルにおける損失のうち最大損失より小さいことを特徴としている。あるいは、第2波長域内の信号チャンネルに対する上記光受信器の受信パワーのうち最小受信パワーは、第1波長域内の信号チャンネルの光ファイバ伝送路における光パワーのうち最小光パワーより大きいことを特徴としている。

【0013】

上述のような構造を備えた光伝送システムによれば、光ファイバ伝送路の前段、途中及び後段のいずれかに設けられた分散補償器により、光送信器からの複数信号チャンネルのうち、第1波長域以外の第2波長域における信号チャンネル群の波長分散が分散補償される。これは、第1波長域は光ファイバ伝送路の零分散波長を含む波長域であり、第2波長域はこれ以外の波長域だからである。すなわち、第2波長域は、零分散波長近傍の第1波長域よりも波長分散の絶対値が大きい波長域であるのため、第2波長域における信号チャンネル群の波長分散が選択的に分散補償される。そして、当該システムのうち光ファイバ伝送路及び分散補償器を含むシステム全体の波長分散特性及び損失特性それぞれが上述のように設定されることにより、この発明に係る光伝送システムは、信号波長帯域内に含まれる複数信号チャンネルが多重化された信号光の高品質伝送、特にCWDM光伝送を可能にする。また、第2波長域内の信号チャンネルに対してのみ分散補償器を設ければ

よいので、システムコストが安価になる。また、CWDM光伝送では信号チャネル間隔が広いので、分波器として安価な光フィルタを利用することができる。

【0014】

この発明に係る光伝送システムにおいて、光ファイバ伝送路及び分散補償器におけるトータル波長分散は、第2波長域中の全信号チャネルにおいて0より大きく $7500/B^2$ (ps/nm) 以下であるのがより好ましい。この場合、第2波長域における分散補償量を小さくすることができ、これに伴い、第2波長域における損失増加を効果的に抑制することができる。したがって、更なる高品質の信号光伝送が可能になる。

【0015】

また、この発明に係る光伝送システムにおいて、上記第2波長域内に含まれる信号チャネルのうち少なくとも一信号チャネルのビットレートは、上記第1波長域内の全信号チャネルのいずれのビットレートよりも高いことが好ましい。この場合、意識的に分散補償された側から伝送速度アップグレードが図れるため、低コストで簡単な構成でシステムの改善が期待できる。

【0016】

この発明に係る光伝送システムにおいて、上記分散補償器は分散補償光ファイバを含むのが好ましい。この場合、分散補償量が少ないときには、損失の低減が期待でき、より顕著に第2波長域における損失増加を抑制することができる。

【0017】

この発明に係る光伝送システムにおいて、光ファイバ伝送路は波長 $1.3\mu\text{m}$ 近傍に存在する零分散波長を有するシングルモード光ファイバを含んでもよい。この場合、既に敷設されているシングルモード光ファイバを含む光ファイバ伝送路を利用することができるので、システムコストが安価になる。

【0018】

この発明に係る光伝送システムにおいて、光ファイバ伝送路は、波長 $1.38\mu\text{m}$ において、波長 $1.31\mu\text{m}$ における伝送損失より小さい伝送損失を有するのが好ましい。この場合、波長 $1.38\mu\text{m}$ 付近の信号チャネルを利用することができ、更なる大容量化が可能になる。

【0019】

この発明に係る光伝送システムにおいて、光ファイバ伝送路は、 $1.35\mu\text{m}$ ～ $1.5\mu\text{m}$ の波長範囲内に存在する零分散波長を有するのが好ましい。この場合、信号波長帯域のうち短波長側における光ファイバ伝送路の波長分散が負値（又は僅かに正值）であるので、信号波長帯域内に含まれる全信号チャネルの伝送特性を改善することができる。

【0020】

この発明に係る光伝送システムは、光ファイバ伝送路を伝搬する信号光をラマン増幅するためのラマン増幅用励起光を、該光ファイバ伝送路に供給する励起光供給手段をさらに備えるのが好ましい。この場合、ラマン増幅用励起光が供給された光ファイバ伝送路において信号光がラマン増幅されるので、実効的な伝送損失を低減することができ、また、分散補償器の挿入に伴う損失の増加を補償することができる。

【0021】

この発明に係る光伝送システムにおいて、上記励起光供給手段は、 $1.2\mu\text{m}$ ～ $1.3\mu\text{m}$ の波長範囲に含まれる複数励起チャネルが多重化されたラマン増幅用励起光を光ファイバ伝送路に供給してもよい。この場合、特に伝送損失が大きい波長 $1.31\mu\text{m}$ 近傍の信号チャネルがラマン増幅され、この波長近傍の実効的な伝送損失を低減することができる。

【0022】

この発明に係る光伝送システムは、分散補償器としての分散補償光ファイバを伝搬する信号光をラマン増幅するためのラマン増幅用励起光を、該分散補償光ファイバに供給する励起光供給手段を更に備えてもよい。この場合、分散補償光ファイバの実効的な伝送損失を低減することができ、その結果、ロスバジェットの拡大やシステムの信頼性の向上を図ることができる。

【0023】**【発明の実施の形態】**

以下、この発明に係る光伝送システムにおける各実施形態を、図1～図11を用いて詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を

付し、重複する説明を省略する。

【0024】

(第1実施形態)

まず、この発明に係る光伝送システムにおける第1実施形態について説明する。図1は、この発明に係る光伝送システムにおける第1実施形態の構成を示す図である。この図に示された光伝送システム1は、N個（Nは2以上の整数）の直接変調光源11₁～11_N（光送信器に含まれる）、合波器12、N個の受信器21₁～21_N（光受信器に含まれる）、分波器22、分散補償器23、分波器24₁、分波器24₂、及び、光ファイバ伝送路30を備えている。

【0025】

各直接変調光源11_n（nは1以上N以下の任意の整数）は、波長 λ_n の光（信号チャンネル）を出力する半導体レーザ光源を含む。合波器12は、各直接変調光源11_nから出力された波長 λ_n の信号チャンネルを多重化して多重化信号光（波長 λ_1 ～ λ_N の信号チャンネルを含む）を光ファイバ伝送路30へ送出する。これら信号チャンネル波長 λ_1 ～ λ_N は、波長1.3 μ m程度から波長1.61 μ m程度までの信号波長帯域に含まれ、チャンネル間隔が比較的広い。すなわち、この光伝送システム1は、CWDM光伝送を行うシステムである。

【0026】

光ファイバ伝送路30は、合波器12から出力された多重化信号光を分波器22へ伝送する。この光ファイバ伝送路30は、波長1.3 μ m近傍に零分散波長を有する標準的なシングルモード光ファイバであるのが好ましく、あるいは、1.35 μ m～1.5 μ mの波長範囲に存在する零分散波長を有する非零分散シフト光ファイバ（NZDSF: Non Zero-Dispersion Shifted Optical Fiber）であってもよい。また、光ファイバ伝送路30は、波長1.38 μ mにおいて、波長1.31 μ mにおける伝送損失より小さい伝送損失を有するのが好ましい。

【0027】

分波器22は、光ファイバ伝送路30の後段に設けられ、光ファイバ伝送路30を介して伝送された多重化信号光に含まれる波長 λ_1 ～ λ_N の信号チャンネルを、第1波長域 Λ_1 の信号チャンネル群と第2波長域 Λ_2 の信号チャンネル群とに分波する

。第1波長域 Λ_1 は光ファイバ伝送路30の零分散波長を含む波長域であり、第2波長域 Λ_2 はこれ以外の波長域である。光ファイバ伝送路30が標準的なシングルモード光ファイバである場合、第1波長域 Λ_1 より第2波長域 Λ_2 の方が長波長側にある。

【0028】

分散補償器23は、分波器22により分波された第2波長域 Λ_2 に含まれる波長 $\lambda_{M+1} \sim \lambda_N$ (M は2以上($N-1$)以下の整数)の信号チャネル群の波長分散を分散補償する。この分散補償器23は、第2波長域 Λ_2 において光ファイバ伝送路30の波長分散とは異符号の波長分散を有する。分散補償器23は、例えば分散補償光ファイバが適しており、この場合、損失が小さく、他の光ファイバとの接続が容易であり、広帯域で使用可能である。また、分散補償器23は、バルク型光学デバイスであってもよく、この場合、周期性があり、広帯域で使用可能であり、分散特性を可変とすることができ、高入力パワーでも使用可能である。また、分散補償器23は、平面光導波路型光学デバイスであってもよく、この場合、小型化可能であり、広帯域で使用可能であり、高入力パワーでも使用可能である。

【0029】

分波器24₁は、分波器22により分波された第1波長域 Λ_1 に含まれる波長 $\lambda_1 \sim \lambda_M$ の信号チャネルを、チャネル波長ごとに分波する。分波器24₂は、分散補償器23により分散補償された第2波長域 Λ_2 に含まれる波長 $\lambda_{M+1} \sim \lambda_N$ の信号チャネルを入力して、チャネル波長ごとに分波する。各受信器21_nは、分波器24₁又は分波器24₂から出力された波長 λ_n の信号チャネルを受信する。

【0030】

この光伝送システム1は以下のように動作する。直接変調光源11_nから出力された波長 λ_n の信号チャネルは合波器12により合波され、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の信号チャネルを含む多重化信号光が光ファイバ伝送路30へ送出される。光ファイバ伝送路30を介して伝送された多重化信号光に含まれる波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の信号チャネルは、分波器22により第1波長域 Λ_1 の信号チャネル群と第2波長域 Λ_2 の信号チャネル群とに分波される。分波器22により分波された波長分散の絶対値

が小さい第1波長域 Λ_1 に含まれる波長 $\lambda_1 \sim \lambda_M$ の信号チャネル群は、分波器24₁によりチャネル波長ごとにさらに分波され、それぞれ対応する受信器21₁~21_Mにより受信される。一方、分波器22により分波された波長分散の絶対値が大きい第2波長域 Λ_2 に含まれる波長 $\lambda_{M+1} \sim \lambda_N$ の信号チャネル群は、分散補償器23により分散補償された後、分波器24₂によりチャネル波長ごとに分波され、それぞれ対応する受信器21_{M+1}~21_Nにより受信される。

【0031】

このとき、光ファイバ伝送路30及び分散補償器23におけるトータル波長分散が最大となる第2波長域 Λ_2 中の特定波長において、ビットレートを B (Gb/s) とするとき、該特定波長の波長分散値は0より大きく $7500/B^2$ (ps/nm) 以下に設定される。

【0032】

加えて、当該システム全体から見て、第2波長域 Λ_2 内の各信号チャネルにおける損失は、第1波長域 Λ_1 内の信号チャネルの損失のうち最大損失より小さく設定される。あるいは、第2波長域 Λ_2 中の信号光に対する受信器の受信パワーのうち最小受信パワーは、光ファイバ伝送路30での第1波長域 Λ_1 内の信号チャネルにおける光パワーのうち最小光パワーより大きく設定される。なお、光ファイバ伝送路30及び分散補償器23におけるトータル波長分散は、第2波長域 Λ_2 内の信号チャネルそれぞれにおいて、0より大きく $7500/B^2$ (ps/nm) 以下であるのがより好ましい。なお、「 $7500/B^2$ 」はシステムの分散耐力を表す。

【0033】

上述のように波長分散特性及び損失特性が設定されることにより、この第1実施形態に係る光伝送システム1は、信号波長帯域内に含まれる複数信号チャネルが多重化された信号光の高品質伝送を可能にし、特にCWDM光伝送を行うのに適した構成となる。また、第2波長域 Λ_2 の信号チャネルに対してのみ選択的に分散補償器23を設ければよいので、システムコストが安価になる。また、CWDM光伝送では信号光におけるチャネル間隔が広いので、分波器22として安価な光フィルタを利用することができる。

【0034】

上述の構成では、光ファイバ伝送路 30 の信号出射端側に分散補償器 23 が配置されていたが、分散補償器 23 は、図 2 に示されたように、光ファイバ伝送路 30 の信号入射端側に配置されてもよい。なお、図 2 は、図 1 に示された第 1 実施形態に係る光伝送システム 1a の第 1 応用例の構成を示す図である。

【0035】

この第 1 応用例に係る光伝送システム 1b では、直接変調光源 $11_1 \sim 11_M$ から出力された第 1 波長域 Λ_1 に含まれる波長 $\lambda_1 \sim \lambda_M$ の信号チャネルが合波器 12₁ により合波される。一方、直接変調光源 $11_{M+1} \sim 11_N$ から出力された第 2 波長域 Λ_2 に含まれる波長 $\lambda_{M+1} \sim \lambda_N$ の信号チャネルが合波器 12₂ により合波される。

【0036】

第 2 波長域 Λ_2 に含まれる信号チャネル群は、一旦分散補償器 23 により分散補償された後に、第 1 波長域 Λ_1 に含まれる信号チャネル群とともに合波器 13 により合波される。この合波器 13 により合波された波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の信号チャネルを含む多重化信号光は、例えば 100 km 長のシングルモード光ファイバからなる光ファイバ伝送路 30 を伝搬し、分波器 24 に到達する。

【0037】

分波器 24 に到達した多重化信号光は、この分波器 24 において各信号チャネルに分波され、各信号チャネルは対応して設けられた受信器 21₁ \sim 21_N によりそれぞれ受信される。

【0038】

さらに、第 1 実施形態に係る光伝送システムは、伝送速度の異なる複数信号チャネルのハイブリッド伝送も可能である。図 3 は、図 1 に示された第 1 実施形態に係る光伝送システムにおける第 2 応用例の構成を示す図であり、基本的には図 2 に示された第 1 応用例に係る光伝送システム 1b と同様な構成を有する。

【0039】

この第 2 応用例に係る光伝送システム 1c では、直接変調光源 $11_1 \sim 11_M$ から出力される波長 $\lambda_1 \sim \lambda_M$ の信号チャネルの伝送速度が 2.5 Gb/s であるの

に対し、直接変調光源 $11_{M+1} \sim 11_N$ から出力される波長 $\lambda_{M+1} \sim \lambda_N$ の信号チャネルの伝送速度は 10 Gb/s である。この光伝送システム $1c$ において、高ビットレート (10 Gb/s) の信号チャネルは分散補償光ファイバ (DCF) である分散補償器 23 により分散補償される。

【0040】

例えば、この光伝送システム $1c$ において、伝送速度が 2.5 Gb/s である第1波長域 Λ_1 の信号チャネル群として、直接変調光源 $11_1 \sim 11_M$ から波長 $1490 \text{ nm} \sim 1550 \text{ nm}$ の信号チャネルが合波器 12_1 により合波される。一方、伝送速度が 10 Gb/s である第2波長域 Λ_2 の信号チャネル群として、直接変調光源 $11_{M+1} \sim 11_N$ から波長 1570 nm 、 1590 nm の信号チャネルが合波器 12_2 により合波される。一方、第2波長域 Λ_2 の信号チャネル群はさらに DCF 23 により分散補償され、残留分散が 10 ps/nm 未満になる程度まで低減される。その後、第2波長域 Λ_2 の信号チャネル群は、第1波長域 Λ_1 の信号チャネル群とともに合波器 13 により合波される。合波器 13 から出力された、波長 $1490 \text{ nm} \sim 1590 \text{ nm}$ の信号チャネルを含む多重化信号光は光ファイバ伝送路 30 (例えば、 50 km 長のシングルモード光ファイバ) を伝搬し、分波器 24 に到達する。この分波器 24 において、多重化信号光は信号チャネルに分波され、これら信号チャネルそれぞれが対応する受信器 $21_1 \sim 21_N$ によって受信される。

【0041】

この光伝送システム $1c$ のように、事前にアップグレード可能な信号チャネルを決定しておき、その信号チャネルに対して DCF 等の分散補償器で分散補償を行うように構成しておけば、光送信器及び光受信器を差し替えるだけで、伝送速度を 2.5 Gb/s から 10 Gb/s へのアップグレードが容易に行える。

【0042】

図4は、第1実施形態に係る光伝送システム 1 の波長分散特性及び損失特性を示すグラフである。図4(a)は、送信器から受信器へ至るまでの累積波長分散の波長依存性を示し、図4(b)は、送信器から受信器へ至るまでの損失の波長依存性を示す。なお、光ファイバ伝送路 30 は、 80 km 長の標準的なシングル

モード光ファイバを想定している。分散補償器 23 は、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の諸特性として、 $-100\ \text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ の波長分散と、 $0\ \text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ の分散スロープと、 $0.5\ \text{dB}/\text{km}$ の伝送損失を有する分散補償光ファイバとした。合波器 12、分波器 24₁ 及び分波器 24₂ それぞれの挿入損失は $3\ \text{dB}$ とした。分波器 22 の挿入損失は $1\ \text{dB}$ とした。波長範囲 $1.31\ \mu\text{m} \sim 1.61\ \mu\text{m}$ 内の 16 チャンネル信号光（チャンネル間隔 $20\ \text{nm}$ ）を伝送することとし、ビットレートを $2.5\ \text{Gb}/\text{s}$ とした。この場合、システムの分散耐力は $1200\ \text{ps}/\text{nm}$ である。

【0043】

分散補償器 23 を設けない場合、波長によっては累積波長分散が分散耐力を超える（図 4（a）中の破線）。しかしながら、この第 1 実施形態に係る光伝送システム 1 では、光ファイバ伝送路 30 の波長分散の絶対値が大きい第 2 波長域 Λ_2 （波長 $1.48\ \mu\text{m} \sim 1.61\ \mu\text{m}$ ）に含まれる各信号チャンネルが、分散補償器 23 により分散補償されるため、当該システム全体の累積波長分散が分散耐力以下となった（図 4（a）中の実線）。分散補償器 23 である分散補償光ファイバの長さは、最大波長 $1.61\ \mu\text{m}$ において累積波長分散が分散耐力以下となるように調整された。

【0044】

分散補償器 23 の損失は $3\ \text{dB}$ であった。第 1 波長域 Λ_1 における最大損失は波長 $1.31\ \mu\text{m}$ において $32\ \text{dB}$ であり、第 2 波長域 Λ_2 全体の損失は $29\ \text{dB} \sim 30\ \text{dB}$ であった（図 4（b））。なお、第 2 波長域 Λ_2 全体の累積波長分散を負にしようとする、第 2 波長域 Λ_2 全体の損失は、波長 $1.31\ \mu\text{m}$ における損失より大きくなる。

【0045】

図 5 は、第 1 実施形態に係る光伝送システム 1 の他の損失特性を示すグラフである。この図 5 は、送信器から受信器へ至るまでの損失の波長依存性を示す。ここで、光ファイバ伝送路 30 は、 $70\ \text{km}$ 長の非零分散シフト光ファイバ（NZDSF）を想定している。この非零分散シフト光ファイバは、 $1.48\ \mu\text{m}$ の零分散波長と、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ において $0.2\ \text{dB}/\text{km}$ の伝送損失を有する。分散

補償器 23 は、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の諸特性として、 $-80\ \text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ の波長分散と、 $-0.1\ \text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ の分散スロープと、 $0.5\ \text{dB}/\text{km}$ の伝送損失を有する分散補償光ファイバとした。合波器 12、分波器 24₁ 及び分波器 24₂ それぞれの挿入損失は $3\ \text{dB}$ とした。分波器 22 の挿入損失は $1\ \text{dB}$ とした。波長範囲 $1.31\ \mu\text{m} \sim 1.61\ \mu\text{m}$ における 16 チャンネル信号光（チャンネル間隔 $20\ \text{nm}$ ）を伝送することとし、ビットレートを $10\ \text{Gb}/\text{s}$ とした。この場合、システムの分散耐力は $75\ \text{ps}/\text{nm}$ である。

【0046】

このときも、分散補償器 23 を設けない場合、波長によっては累積波長分散が分散耐力を超える。しかしながら、この第 1 実施形態に係る光伝送システム 1 では、光ファイバ伝送路 30 の波長分散の絶対値が大きい第 2 波長域 Λ_2 （波長 $1.5\ \mu\text{m} \sim 1.61\ \mu\text{m}$ ）に含まれる各信号チャンネルが分散補償器 23 により分散補償されるため、当該システム全体の累積波長分散が分散耐力以下となった。分散補償器 23 である分散補償光ファイバの長さは、最大波長 $1.61\ \mu\text{m}$ で累積波長分散が分散耐力以下となるように調整された。第 1 波長域 Λ_1 における最大損失は波長 $1.31\ \mu\text{m}$ における $27\ \text{dB}$ であり、第 2 波長域 Λ_2 全体の損失は $26\ \text{dB}$ 以下であった。伝送ペナルティは全波長で $1\ \text{dB}$ 以下であった。

【0047】

なお、図 6 は、図 1 に示された第 1 実施形態に係る光伝送システムにおいて、信号チャンネルごとに受信パワー（受信器への入力パワー）をプロットした図である。光ファイバ伝送路 30 は、 $80\ \text{km}$ 長の標準的なシングルモード光ファイバを想定している。分散補償器 23 は、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の諸特性として、 $-100\ \text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ の波長分散と、 $0\ \text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ の分散スロープと、 $0.5\ \text{dB}/\text{km}$ の伝送損失を有する分散補償光ファイバとした。合波器 12、分波器 24₁ 及び分波器 24₂ それぞれの挿入損失は $3\ \text{dB}$ とした。分波器 22 の挿入損失は $1\ \text{dB}$ とした。波長範囲 $1.31\ \mu\text{m} \sim 1.61\ \mu\text{m}$ 内の 16 チャンネル信号光（チャンネル間隔 $20\ \text{nm}$ ）を伝送することとし、ビットレートを $2.5\ \text{Gb}/\text{s}$ とした。

【0048】

このようなシステム構成では、受信器 $21_1 \sim 21_N$ における最小受信パワーは -31 dB 以上となり、全信号チャネルにおいて $\text{BER} < 10^{-11}$ となることを確認した。

【0049】

(第2実施形態)

次に、この発明に係る光伝送システムにおける第2実施形態について説明する。図7は、この発明に係る光伝送システムにおける第2実施形態の構成を示す図である。この図に示された光伝送システム2は、第1実施形態に係る光伝送システム1の構成(図1)に加え、光カップラ41及び励起光源42をさらに備える。なお、以下の説明では、図7に示されたように、光ファイバ伝送路30の信号射出端側に分散補償器23が配置された構成を対象としているが、この第2実施形態は、その応用例として図2に示されたように、分散補償器23が光ファイバ伝送路30の信号入射端側に配置された構成を備えても、また、光ファイバ伝送路30の途中に分散補償器23が配置された構成であってもよい。さらに、この第2実施形態は、他の応用例として図3に示されたように、信号チャネル間で伝送速度が異なるハイブリッド伝送を可能にする構成を備えてもよい。

【0050】

励起光源42は、光ファイバ伝送路30において多重化信号光をラマン増幅するためのラマン増幅用励起光を出力する。光カップラ41は、光ファイバ伝送路30の後段であって分波器22の前段に設けられ、励起光源42から出力された励起光を光ファイバ伝送路30に供給するとともに、光ファイバ伝送路30を伝搬してきた多重化信号光を合波器22へ出力する。ラマン増幅用励起光は、波長範囲 $1.2\text{ }\mu\text{m} \sim 1.3\text{ }\mu\text{m}$ 内の複数励起チャネルを含むのが好ましく、この場合、波長範囲 $1.3\text{ }\mu\text{m} \sim 1.4\text{ }\mu\text{m}$ の多重化信号光をラマン増幅することができる。また、このとき、光ファイバ伝送路30は、波長 $1.38\text{ }\mu\text{m}$ において、波長 $1.31\text{ }\mu\text{m}$ における伝送損失より小さい伝送損失を宇揺するのが好ましい。

【0051】

この光伝送システム2は以下のように動作する。励起光源42から出力されたラマン増幅用励起光は、光カップラ41を経て光ファイバ伝送路30へ供給される

。直接変調光源 11_nから出力された波長 λ_n の信号チャネルは合波器 12により合波され、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の信号チャネルを含む多重化信号光が光ファイバ伝送路 30へ送出される。光ファイバ伝送路 30を介して伝送される間に多重化信号光はラマン増幅される。そして、光カップラ 41を経て分波器 22に到達した多重化信号光に含まれる波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の信号チャネルは、分波器 22により第1波長域 Λ_1 の信号チャネル群と第2波長域 Λ_2 の信号チャネル群とに分波される。分波器 22により分波された波長分散の絶対値が小さい第1波長域 Λ_1 に含まれる波長 $\lambda_1 \sim \lambda_M$ の信号チャネル群は、分波器 24₁により信号チャネルごとに分波され、各信号チャネルはそれぞれ対応する受信器 21₁～21_Mにより受信される。一方、分波器 22により分波された波長分散の絶対値が大きい第2波長域 Λ_2 に含まれる波長 $\lambda_{M+1} \sim \lambda_N$ の信号チャネル群は、分散補償器 23により分散補償された後、分波器 24₂により信号チャネルごとに分波され、各信号チャネルはそれぞれ対応する受信器 21_{M+1}～21_Nにより受信される。

【0052】

このとき、光ファイバ伝送路 30及び分散補償器 23におけるトータル波長分散が最大となる第2波長域 Λ_2 内の特定波長において、ビットレートを B (Gb/s) とするとき、該特定波長の波長分散値は0より大きく $7500/B^2$ (ps/nm) 以下に設定される。

【0053】

加えて、当該システム全体から見て、第2波長域 Λ_2 内の各信号チャネルの損失は、第1波長域 Λ_1 内の信号チャネルにおける損失のうち最大損失より小さく設定される。あるいは、第2波長域 Λ_2 内の各信号チャネルの受信器における受信パワーのうち最小受信パワーは、光ファイバ伝送路 30での第1波長域 Λ_1 内の信号チャネルにおける光パワーのうち最小光パワーより大きく設定される。なお、光ファイバ伝送路 30及び分散補償器 23におけるトータル波長分散は、第2波長域 Λ_2 内の信号チャネルそれぞれにおいて、0より大きく $7500/B^2$ (ps/nm) 以下に設定されるのがより好ましい。

【0054】

上述のように波長分散特性及び損失特性が設定されることにより、光伝送シス

テム 2 は、信号波長帯域内の複数信号チャネルを含む多重化信号光の高品質伝送を可能にし、特に CWDM 光伝送に適した構成になる。また、第 2 波長域 Λ_2 の信号チャネルに対してのみ選択的に分散補償器 23 を設ければよいので、システムコストが安価になる。また、CWDM 光伝送では信号チャネル間隔が広いので、分波器 22 として安価な光フィルタを利用することができる。また、この第 2 実施形態では、光ファイバ伝送路 30 の損失が大きい波長域の信号チャネル群をラマン増幅することで、更に高品質の信号光伝送が可能になる。

【0055】

具体的には、光ファイバ伝送路 30 は、波長 $1.38\ \mu\text{m}$ 付近の OH 基に起因した損失ピークが低減された非零分散シフト光ファイバを想定している。波長範囲 $1.31\ \mu\text{m} \sim 1.61\ \mu\text{m}$ の 16 チャネル信号光（チャネル間隔 $20\ \text{nm}$ ）を伝送することとし、ビットレートを $2.5\ \text{Gb/s}$ とする。この場合、システムの分散耐力は $1200\ \text{ps/nm}$ である。ラマン増幅用励起光に含まれる各励起チャネルの波長は $1.2\ \mu\text{m} \sim 1.3\ \mu\text{m}$ であり、波長 $1.3\ \mu\text{m}$ 付近の多重化信号光をラマン増幅する。これにより、損失により制限されていた伝送距離が拡張され、あるいは、受信パワーが増大して、システムマージンの拡大を図ることができる。例えば、ラマン増幅用励起光の波長が $1.23\ \mu\text{m}$ であってパワーが $24\ \text{dBm}$ であれば、波長 $1.33\ \mu\text{m}$ での伝送距離を $20\ \text{km}$ 以上長くすることができる。

【0056】

（第 3 実施形態）

次に、この発明に係る光伝送システムの第 3 実施形態について説明する。図 8 は、この発明に係る光伝送システムにおける第 3 実施形態の構成を示す図である。この図に示された光伝送システム 3 は、 N 個（ N は 2 以上の整数）の直接変調光源 $11_1 \sim 11_N$ （光送信器に含まれる）、合波器 12、 N 個の受信器 $21_1 \sim 21_N$ 、分波器 22₁、分波器 22₂、分散補償器 23₂、分散補償器 23₃、分波器 24₁、分波器 24₂、分波器 24₃、及び、光ファイバ伝送路 30 を備える。なお、以下の説明では、図 8 に示されたように、光ファイバ伝送路 30 の信号出射端側に分散補償器 23 が配置された構成を対象としているが、この第 3 実施形

態は、その応用例として図2に示されたように、分散補償器23が光ファイバ伝送路30の信号入射端側に配置された構成を備えても、また、光ファイバ伝送路30の途中に分散補償器23が配置された構成であってもよい。さらに、この第3実施形態は、他の応用例として図3に示されたように、信号チャネル間で伝送速度が異なるハイブリッド伝送を可能にする構成を備えてもよい。

【0057】

直接変調光源11_n（nは1以上N以下の任意の整数）は、波長 λ_n の信号チャネルを出力する半導体レーザ光源を含む。合波器12は、直接変調光源11_nから出力された波長 λ_n の信号チャネルを合波し、多重化信号光（波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の信号チャネルを含む）を光ファイバ伝送路30へ送出する。これら信号チャネル波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ は、波長1.3 μm 程度から波長1.61 μm 程度までの信号波長帯域に含まれ、チャネル間隔が比較的広い。すなわち、この光伝送システム3は、CWDM光伝送を行うシステムである。

【0058】

光ファイバ伝送路30は、合波器12から出力された波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の信号チャネルを含む信号光を分波器22₁へ伝送する。この光ファイバ伝送路30は、波長1.3 μm 近傍に存在する零分散波長を有する標準的なシングルモード光ファイバ、あるいは、波長1.35 $\mu\text{m} \sim 1.5 \mu\text{m}$ に存在する零分散波長を有する非零分散シフト光ファイバであるのが好ましい。また、光ファイバ伝送路30は、波長1.38 μm において、波長1.31 μm における伝送損失より小さい伝送損失を有するのが好ましい。

【0059】

分波器22₁は、光ファイバ伝送路30の後段に設けられ、光ファイバ伝送路30を介して伝送された多重化信号光に含まれる波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の信号チャネルを、第1波長域 Λ_1 の信号チャネル群と第2波長域 Λ_2 の信号チャネル群とに分波する。第1波長域 Λ_1 は光ファイバ伝送路30の零分散波長を含む波長域であり、第2波長域 Λ_2 はこれ以外の波長域である。光ファイバ伝送路30が標準的なシングルモード光ファイバである場合、第1波長域 Λ_1 より第2波長域 Λ_2 の方が長波長側にある。また、分波器22₂は、分波器22₁により分波された第2波長域

Λ_2 に含まれる波長 $\lambda_{M+1} \sim \lambda_N$ (M は2以上($N-1$)以下の整数)の信号チャネル群を、更に2つの波長域に分波する。

【0060】

分散補償器23₂は、分波器22₂により分波された第2波長域 Λ_2 の信号チャネル群のうち波長 $\lambda_{M+1} \sim \lambda_L$ (L は($M+2$)以上($N-1$)以下の整数)の信号チャネル群に対して分散補償する。分散補償器23₃は、分波器22₃により分波された第2波長域 Λ_2 の信号チャネル群のうち波長 $\lambda_{L+1} \sim \lambda_N$ の信号チャネル群に対して分散補償する。これら分散補償器23₂、23₃は、各波長域において光ファイバ伝送路30の波長分散とは異符号の波長分散を有し、例えば分散補償光ファイバが適している。

【0061】

分波器24₁は、分波器22₁により分波された第1波長域 Λ_1 に含まれる波長 $\lambda_1 \sim \lambda_M$ の信号チャネル群を、信号チャネルごとに分波する。分波器24₂は、分散補償器23₂により分散補償された第2波長域 Λ_2 の信号チャネルのうち波長 $\lambda_{M+1} \sim \lambda_L$ の信号チャネルを、信号チャネルごとに分波する。分波器24₃は、分散補償器23₃により分散補償された第2波長域 Λ_2 のうちの波長 $\lambda_{L+1} \sim \lambda_N$ の信号チャネル群を、信号チャネルごとに分波する。受信器21_nは、分波器24₁～24₃の何れかより分波された波長 λ_n の信号チャネルをそれぞれ受信する。

【0062】

この光伝送システム3は以下のように動作する。直接変調光源11_nから出力された波長 λ_n の信号チャネルは合波器12により合波され、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の信号チャネルを含む多重化信号光が光ファイバ伝送路30へ送出される。光ファイバ伝送路30を介して分波器22₁に到達した多重化信号光に含まれる波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の信号チャネルは、分波器22₁により第1波長域 Λ_1 の信号チャネル群と第2波長域 Λ_2 の信号チャネル群とに分波される。分波器22₁により分波された波長分散の絶対値が小さい第1波長域 Λ_1 に含まれる波長 $\lambda_1 \sim \lambda_M$ の信号チャネル群は、分波器24₁により信号チャネルごとに分波され、各信号チャネルがそれぞれ対応する受信器21₁～21_Mにより受信される。一方、分波器22₁により分波された波長分散の絶対値が大きい第2波長域 Λ_2 に含まれる波長 $\lambda_{M+1} \sim \lambda_N$

の信号チャネル群は、分波器 22₂により更に2つの波長域に分波され、分散補償器 23₂、23₃により分散補償された後、分波器 24₂、24₃により信号チャネルごとに分波され、各信号チャネルがそれぞれ対応する受信器 21_{M+1}～21_Nにより受信される。

【0063】

このとき、光ファイバ伝送路 30 及び分散補償器 23 におけるトータル波長分散が最大となる第2波長域 Λ_2 内の特定波長において、ビットレートを B (Gb/s) としたときに、該特性波長の波長分散値は 0 より大きく $7500/B^2$ (ps/nm) 以下とされる。

【0064】

加えて、当該システム全体から見て、第2波長域 Λ_2 内の各信号チャネルの損失は、第1波長域 Λ_1 内の信号チャネルにおける損失のうち最大損失より小さく設定される。あるいは、第2波長域 Λ_2 内の信号チャネルに対する受信器の受信パワーのうち最小受信パワーは、光ファイバ伝送路 30 での第1波長域 Λ_1 内の信号チャネルの光パワーのうち最小光パワーより大きく設定される。なお、光ファイバ伝送路 30 及び分散補償器 23 におけるトータル波長分散は、第2波長域 Λ_2 内の信号チャネルそれぞれにおいて、0 より大きく $7500/B^2$ (ps/nm) 以下であるのが好ましい。

【0065】

上述のような波長分散特性及び損失特特性に設定することにより、光伝送システム 3 は、信号波長帯域内の複数信号チャネルを含む多重化信号光の高品質伝送を可能にし、特に CWDM 光伝送に適した構成になる。また、第2波長域 Λ_2 の信号チャネル群に対してのみ選択的に分散補償器 23₂、23₃ を設ければよいので、システムコストが安価になる。また、CWDM 光伝送では信号チャネル間隔が広いので、分波器 22₁、22₂ として安価な光フィルタを利用することができる。特にこの第3実施形態では、第2波長域 Λ_2 の信号チャネル群を更に2つの波長域に分波して、各波長域に対して分散補償器が設けられることから、より高品質の信号光伝送が可能になる。さらに、分散補償器 23₂、23₃ に対する損失要求特性が緩和されるので、システム設計が容易になる。

【0066】

図9は、この第3実施形態に係る光伝送システム3の波長分散特性及び損失特性を示すグラフである。図9(a)は、送信器から受信器へ至るまでの累積波長分散の波長依存性を示し、図9(b)は、送信器から受信器へ至るまでの損失の波長依存性を示す。分散補償器23₂、23₃を設けない場合、波長によっては累積波長分散が分散耐力を超える(図9(a)中の破線)。しかしながら、この第3実施形態に係る光伝送システム3では、光ファイバ伝送路30の波長分散の絶対値が大きい第2波長域 Λ_2 (波長 $1.4\mu\text{m}\sim 1.61\mu\text{m}$)に含まれる信号チャンネル群は、分散補償器23₂、23₃により分散補償されるため、当該システム全体の累積波長分散が分散耐力以下となる(図9(a)中の実線)。分散補償器23₂、23₃である分散補償光ファイバの長さは、各帯域の最大波長で累積波長分散が分散耐力以下となるように調整される。

【0067】

なお、図10は、図8に示された第3実施形態に係る光伝送システムにおいて、信号チャンネルごとに受信パワー(受信器への入力パワー)をプロットした図である。光ファイバ伝送路30は、80km長の標準的なシングルモード光ファイバを想定している。分散補償器23は、波長 $1.55\mu\text{m}$ の諸特性として、 $-100\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ の波長分散と、 $0\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ の分散スロープと、 $0.5\text{dB}/\text{km}$ の伝送損失を有する分散補償光ファイバとした。合波器12、分波器24₁及び分波器24₂それぞれの挿入損失は3dBとした。分波器22の挿入損失は1dBとした。波長範囲 $1.31\mu\text{m}\sim 1.61\mu\text{m}$ 内の16チャンネル信号光(チャンネル間隔20nm)を伝送することとし、ビットレートを $2.5\text{Gb}/\text{s}$ とした。

【0068】

このようなシステム構成では、受信器21₁～21_Nにおける最小受信パワーは -30dB 以上となり、全信号チャンネルにおいて $\text{BER}<10^{-13}$ となることを確認した。

【0069】

(第4実施形態)

次に、この発明に係る光伝送システムにおける第4実施形態について説明する。図11は、この発明に係る光伝送システムにおける第4実施形態の構成を示す図である。この図に示された光伝送システム4は、第1実施形態に係る光伝送システム1の構成(図1)に加えて、光カップラ41及び励起光源42をさらに備える。なお、以下の説明では、図11に示されたように、光ファイバ伝送路30の信号出射端側に分散補償器23が配置された構成を対象としているが、この第4実施形態は、その応用例として図2に示されたように、分散補償器23が光ファイバ伝送路30の信号入射端側に配置された構成を備えても、また、光ファイバ伝送路30の途中に分散補償器23が配置された構成であってもよい。さらに、この第4実施形態は、他の応用例として図3に示されたように、信号チャネル間で伝送速度が異なるハイブリッド伝送を可能にする構成を備えてもよい。

【0070】

励起光源42は、分散補償器として用意された分散補償光ファイバ23において信号光をラマン増幅するためのラマン増幅用励起光を出力する。光カップラ41は、分散補償光ファイバ23の後段であって分波器242の前段に設けられ、励起光源42から出力された励起光を分散補償光ファイバ23に供給するとともに、第2波長域 Λ_2 に含まれる信号チャネル群を分波器242へ出力する。ラマン増幅用励起光は、波長 $1.2\mu\text{m}\sim 1.3\mu\text{m}$ の複数励起チャネルを含むのが好ましく、この場合、波長 $1.3\mu\text{m}\sim 1.4\mu\text{m}$ の多重化信号光をラマン増幅することができる。また、このとき、分散補償光ファイバ23は、波長 $1.38\mu\text{m}$ において、波長 $1.31\mu\text{m}$ における伝送損失より小さい伝送損失を有するのが好ましい。

【0071】

この光伝送システム4は以下のように動作する。直接変調光源11_nから出力された波長 λ_n の信号チャネルは合波器12により合波され、多重化信号光(波長 $\lambda_1\sim\lambda_N$ の信号チャネルを含む)が光ファイバ伝送路30へ送出される。光ファイバ伝送路30を介して伝送された多重化信号光に含まれる波長 $\lambda_1\sim\lambda_N$ の信号チャネルは、分波器22により第1波長域 Λ_1 の信号チャネル群と第2波長域 Λ_2 の信号チャネル群とに分波される。分波器22により分波された波長分散の

絶対値が小さい第1波長域 Λ_1 に含まれる波長 $\lambda_1 \sim \lambda_M$ の信号チャネル群は、信号チャネルごとに分波されて、各信号チャネルがそれぞれ対応する受信器 $21_1 \sim 21_M$ により受信される。一方、分波器22により分波された波長分散の絶対値が大きい第2波長域 Λ_2 に含まれる波長 $\lambda_{M+1} \sim \lambda_N$ の信号チャネル群は、分散補償光ファイバ23により分散補償されるとともに、この分散補償光ファイバ23においてラマン増幅された後、信号チャネルごとに分波されて、各信号チャネルがそれぞれ対応する受信器 $21_{M+1} \sim 21_N$ により受信される。

【0072】

このとき、光ファイバ伝送路30及び分散補償光ファイバ23における波長分散が最大となる第2波長域 Λ_2 内の特定波長において、ビットレートを B (Gb/s) とするとき、該特定波長の波長分散値は0より大きく $7500/B^2$ (ps/nm) 以下に設定される。

【0073】

加えて、当該システム全体から見て、第2波長域 Λ_2 内の各信号チャネルにおける損失は、第1波長域 Λ_1 内の信号チャネルにおける損失のうち最大損失より小さく設定される。あるいは、第2波長域 Λ_2 内の信号チャネルに対する受信器の受信パワーのうち最小受信パワーは、光ファイバ伝送路30での第1波長域 Λ_1 内の信号チャネルにおける光パワーのうち最小光パワーより大きく設定される。なお、光ファイバ伝送路30及び分散補償光ファイバ23における波長分散は、第2波長域 Λ_2 内の信号チャネルそれぞれにおいて、0より大きく $7500/B^2$ (ps/nm) 以下であるのがより好ましい。

【0074】

上述のように波長分散特性及び損失特性が設定されることにより、光伝送システム4は、信号波長帯域内の複数信号チャネルを含む多重化信号光の高品質伝送を可能にし、特にCWDM光伝送に適した構成になる。また、第2波長域 Λ_2 の信号チャネル群に対してのみ選択的に分散補償光ファイバ23を設ければよいので、システムコストが安価になる。また、CWDM光伝送では信号チャネル間隔が広いので、分波器22として安価な光フィルタを利用することができる。特にこの第4実施形態では、分散補償光ファイバ23を伝搬する間に第2波長域 Λ_2

の信号チャネル群がラマン増幅されるので、分散補償光ファイバ 23 の実効的な損失を低減することができ、あるいは、分散補償光ファイバ 23 を実効的に無損失とすることができる。

【0075】

具体的に、波長範囲 $1.31\ \mu\text{m} \sim 1.61\ \mu\text{m}$ の 14 チャネル信号光（ただし、波長 $1.49\ \mu\text{m}$ 及び $1.51\ \mu\text{m}$ を除く）を伝送することとし、ラマン増幅用励起光の波長を $1.51\ \mu\text{m}$ とし、ラマン増幅用励起光のパワーを $17\ \text{dBm}$ とする。このとき、波長 $1.61\ \mu\text{m}$ において $4.5\ \text{dB}$ の利得が得られ、波長範囲 $1.53\ \mu\text{m} \sim 1.61\ \mu\text{m}$ における全信号チャネルの損失は約 $26\ \text{dB}$ となり、システムマージンを十分に確保することができる。

【0076】

【発明の効果】

以上のようにこの発明によれば、信号波長帯域内の複数信号チャネルが多重化された信号光の高品質伝送が可能になり、特に CWDM 光伝送に適したシステムが得られる。また、第 2 波長域内の信号チャネルに対してのみ分散補償器を設ければよく、加えて、分波器として安価な光部品を利用することができるので、システムコストが安価になる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

この発明に係る光伝送システムにおける第 1 実施形態の構成を示す図である。

【図 2】

図 1 に示された第 1 実施形態に係る光伝送システムにおける第 1 応用例の構成を示す図である。

【図 3】

図 1 に示された第 1 実施形態に係る光伝送システムにおける第 2 応用例の構成を示す図である。

【図 4】

図 1 に示された第 1 実施形態に係る光伝送システムの波長分散特性及び損失特性を示すグラフである。

【図 5】

図 1 に示された第 1 実施形態に係る光伝送システムの損失特性を示すグラフである。

【図 6】

図 1 に示された第 1 実施形態に係る光伝送システムにおいて、信号チャネルごとに受信パワー（受信器への入力パワー）をプロットした図である。

【図 7】

この発明に係る光伝送システムにおける第 2 実施形態の構成を示す図である。

【図 8】

この発明に係る光伝送システムにおける第 3 実施形態の構成を示す図である。

【図 9】

図 8 に示された第 3 実施形態に係る光伝送システムの波長分散特性及び損失特性を示すグラフである。

【図 1 0】

図 8 に示された第 3 実施形態に係る光伝送システムにおいて、信号チャネルごとに受信パワー（受信器への入力パワー）をプロットした図である。

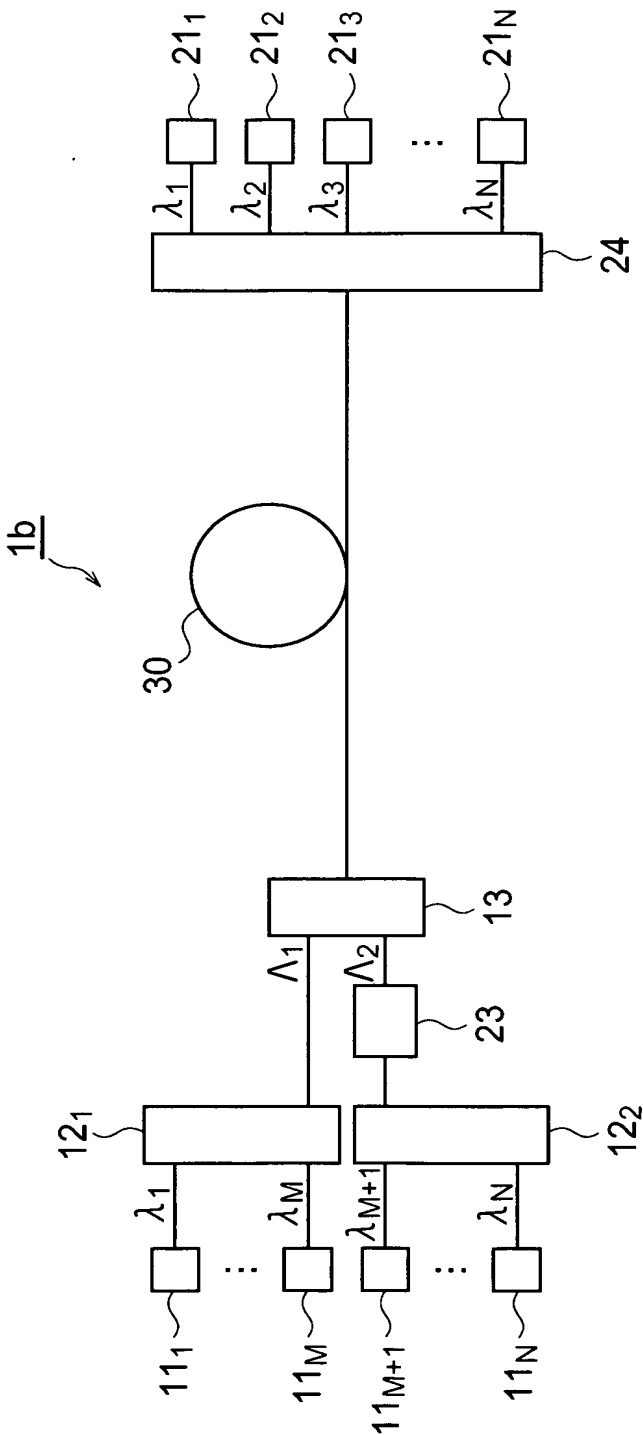
【図 1 1】

この発明に係る光伝送システムにおける第 4 実施形態の構成を示す図である。

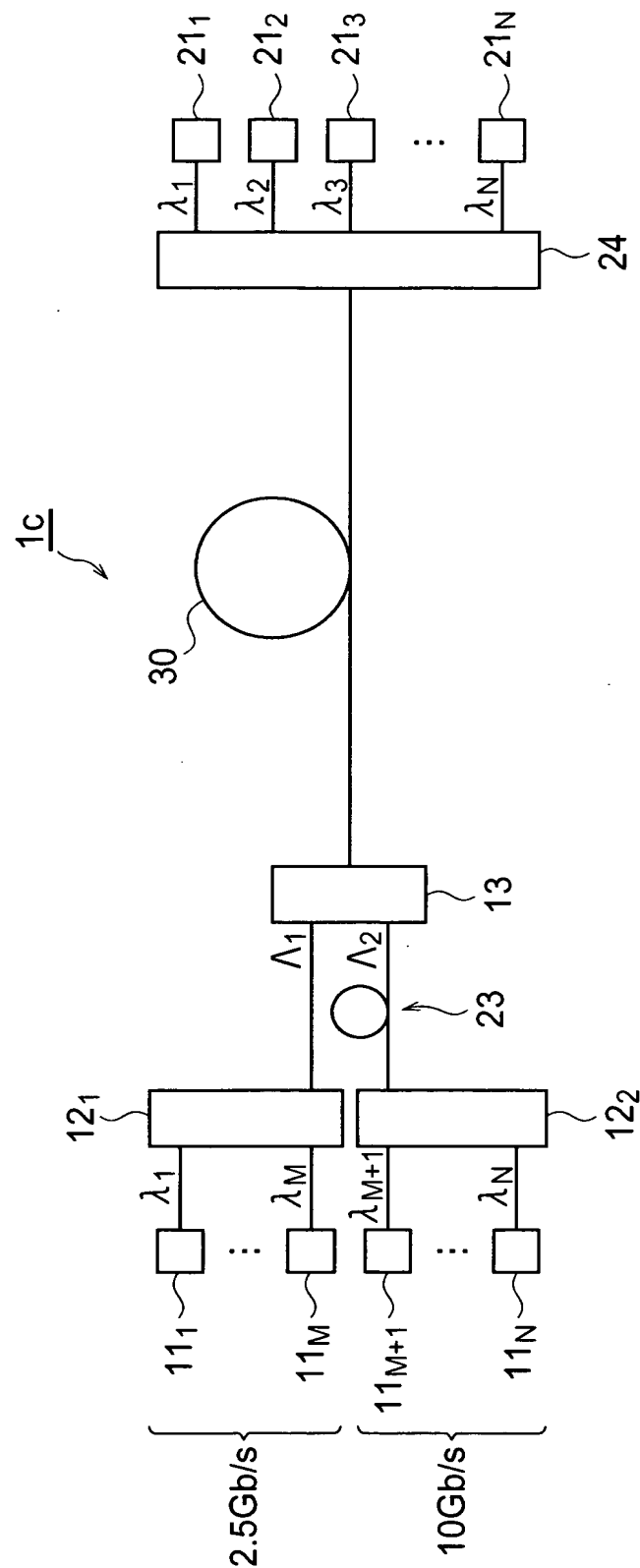
【符号の説明】

1 ～ 4 …光伝送システム、1 1 …送信器、1 2 …合波器、2 1 …受信器、2 2 …分波器、2 3 …分散補償器、2 4 …分波器、3 0 …光ファイバ伝送路、4 1 …光カプラ、4 2 …励起光源。

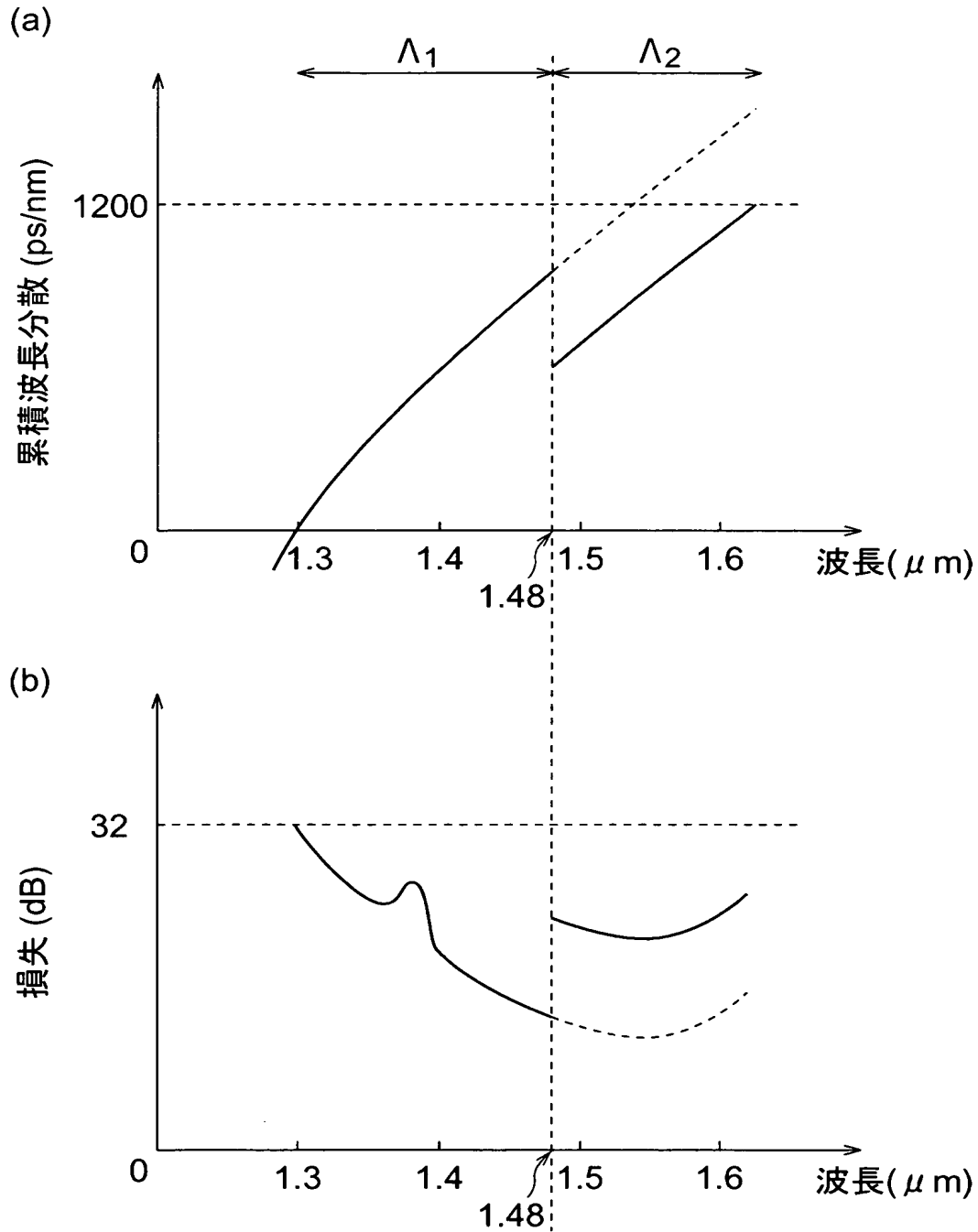
【図 2】



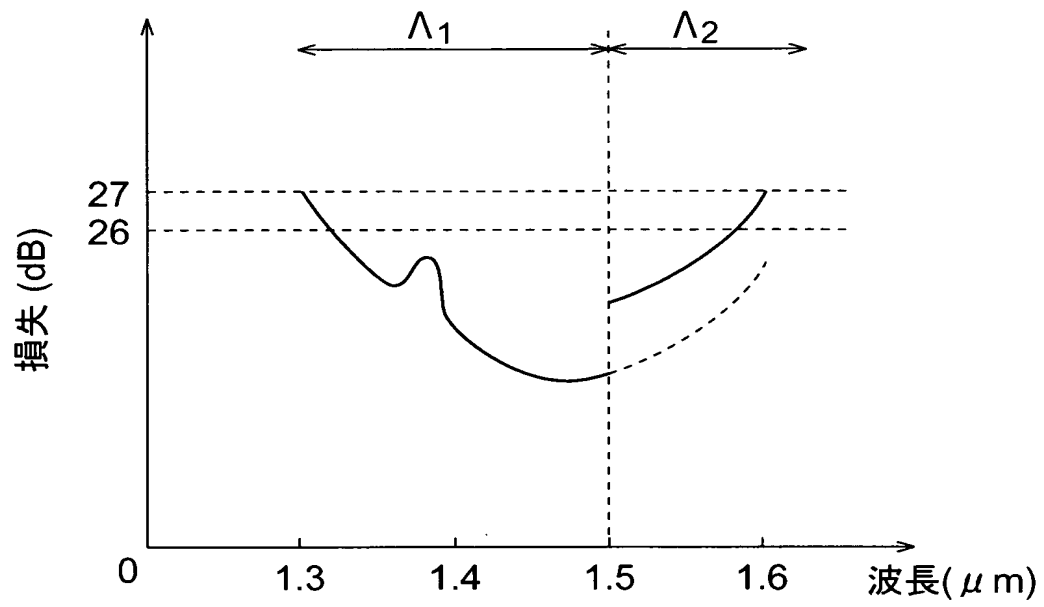
【図 3】



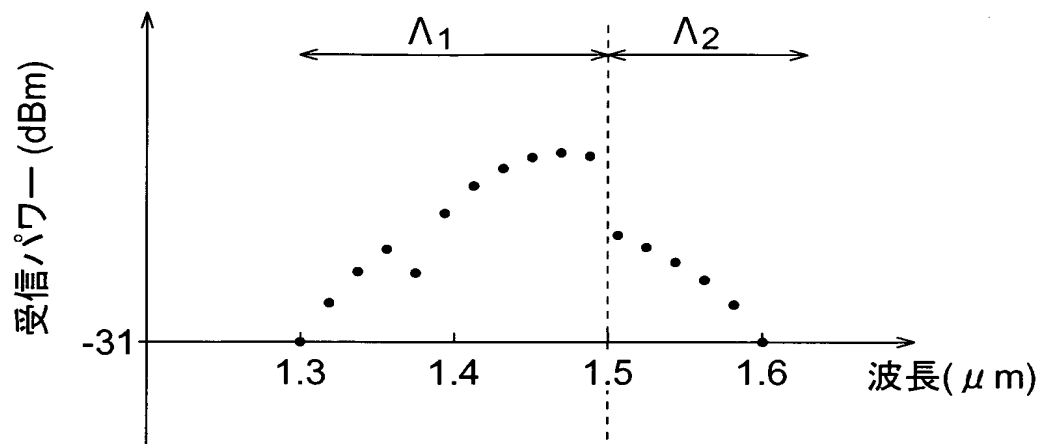
【図 4】



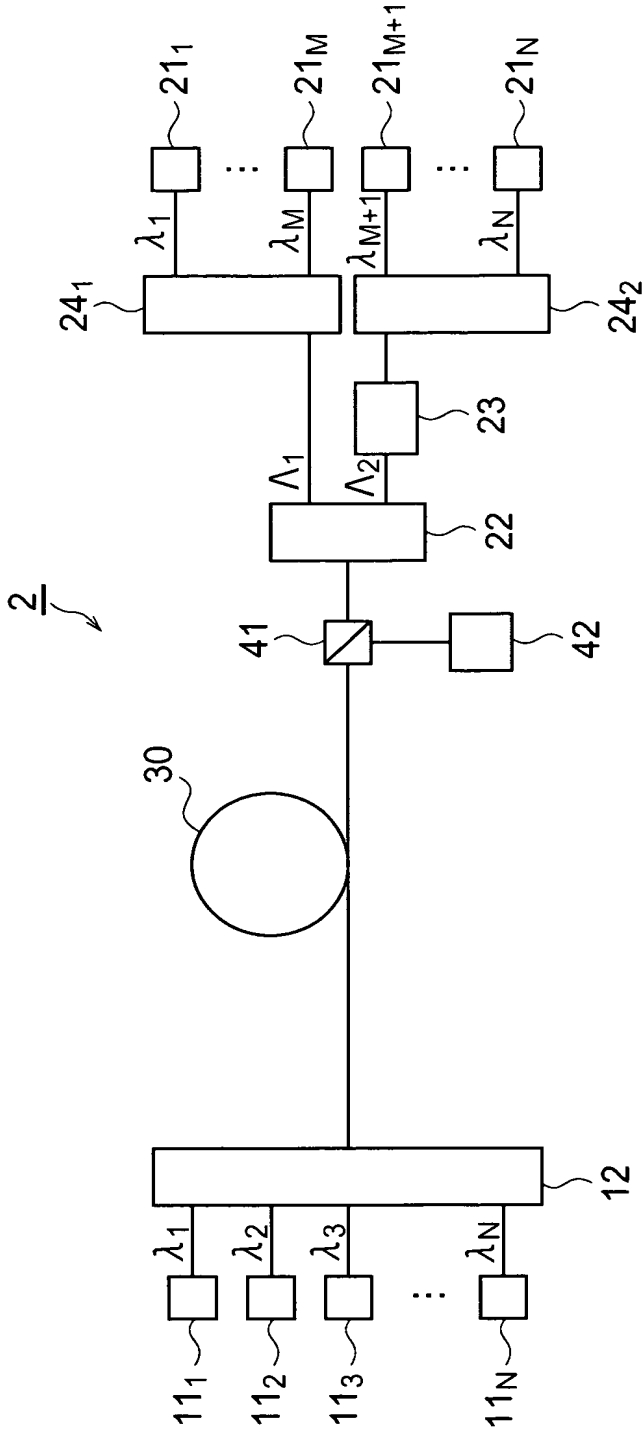
【図 5】



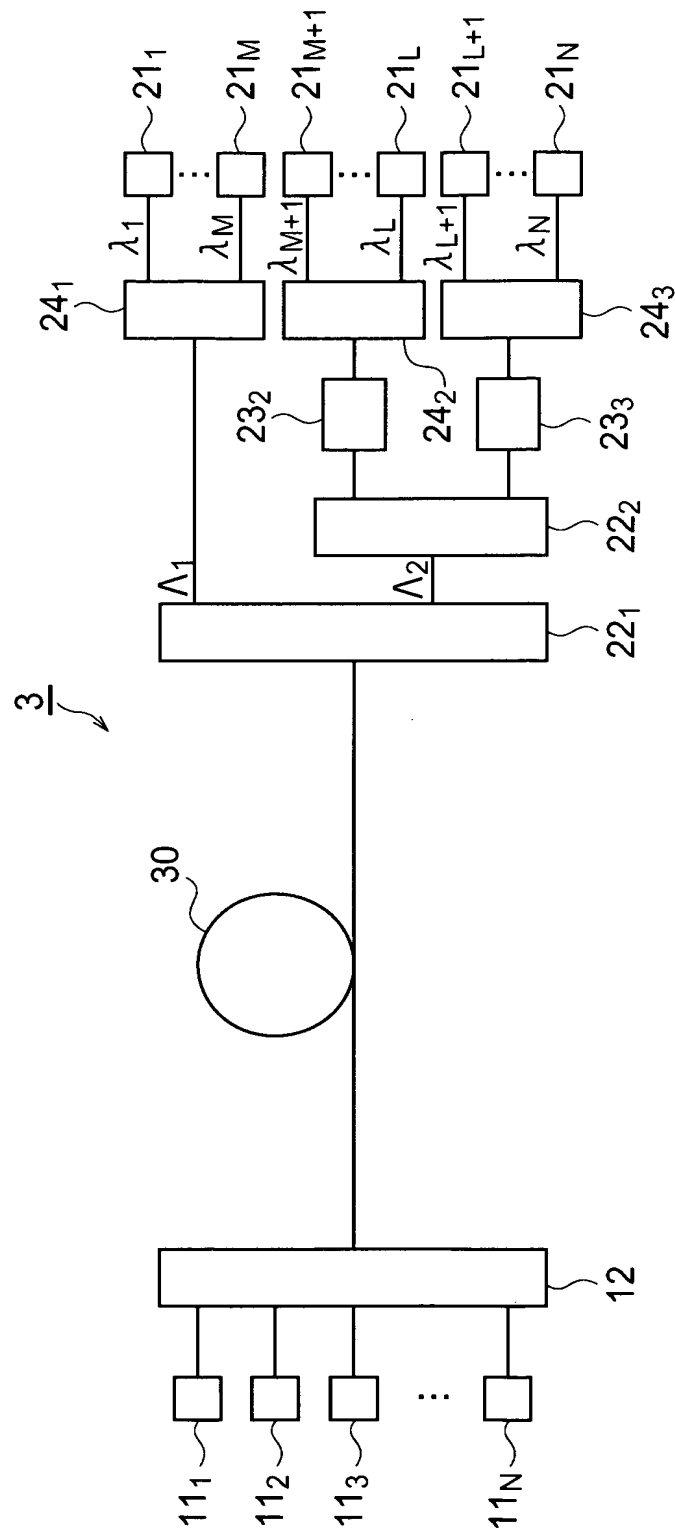
【図 6】



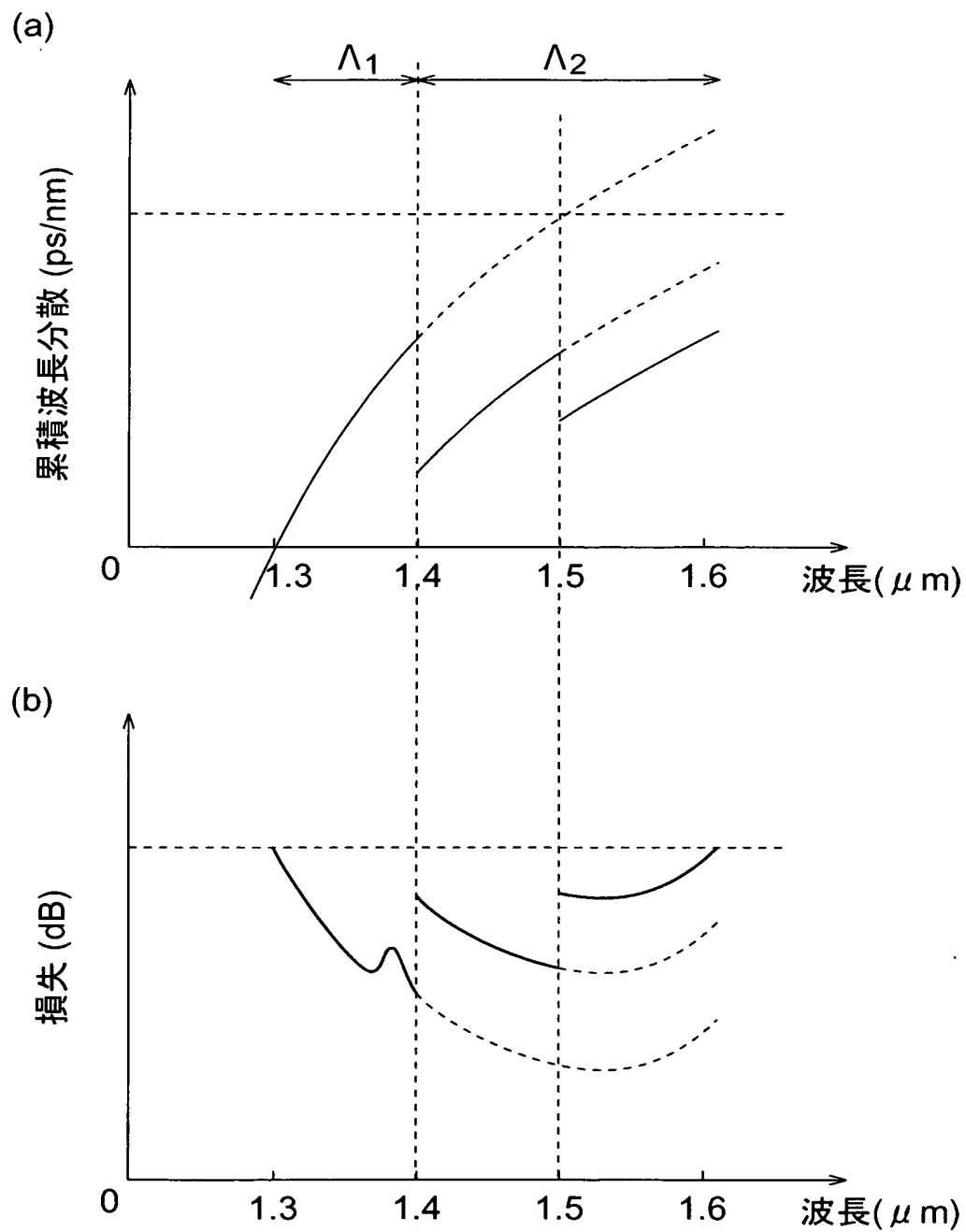
【図 7】



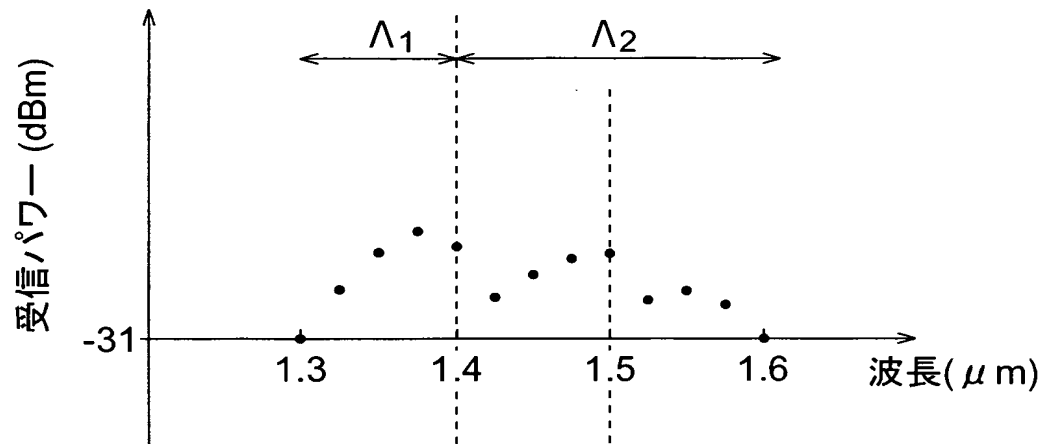
【図 8】



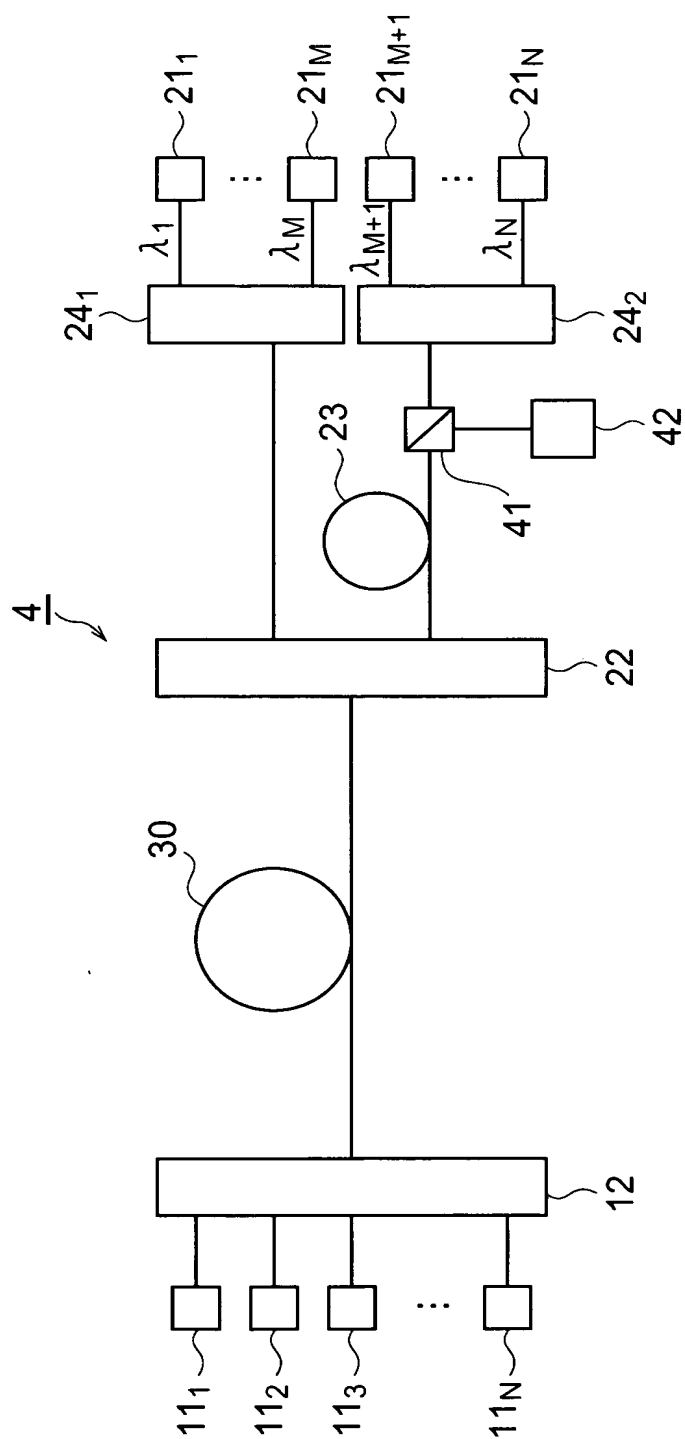
【図 9】



【図 10】



【図 11】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 複数信号チャネルが多重化された信号光の高品質伝送を可能にし、特に C W D M 光伝送に適した構造を備えた光伝送システムを提供する。

【解決手段】 光ファイバ伝送路 30 を伝搬する複数信号チャネルは、分波器 2 2 により第 1 波長域 Λ_1 の信号チャネル群と第 2 波長域 Λ_2 の信号チャネル群とに分波される。波長分散の絶対値が大きい第 2 波長域 Λ_2 の各信号チャネルは、分散補償器 2 3 により分散補償される。光ファイバ伝送路 30 及び分散補償器 23 におけるトータル波長分散が最大となる第 2 波長域 Λ_2 内の特定波長において、ビットレートを B (Gb/s) とするとき、該特定波長における波長分散値は 0 より大きく $7500/B^2$ (ps/nm) 以下であり、第 2 波長域 Λ_2 の損失が、第 1 波長域 Λ_1 の最大損失より小さくなるよう設定される。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 3 - 1 5 8 1 9 . 2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 2 1 3 0]

1 . 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 9 日

[変更理由]

新規登録

住 所

大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号

氏 名

住友電気工業株式会社